

# Языки описания схем

(mk.cs.msu.ru → Лекционные курсы → Языки описания схем)

## Блок 4

Логические вентили

Лектор:

**Подымов Владислав Васильевич**

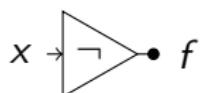
Комбинационные схемы

E-mail:

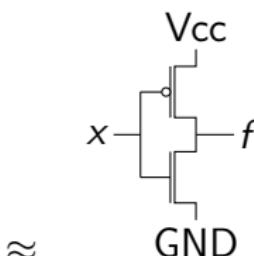
**valdus@yandex.ru**

# Схемы и время

СФЭ



КМОП-схемы



$\approx$

КМОП-схема — это модель, описывающая соединение “реальных” транзисторов, преобразующих напряжение в “реальном” времени

СФЭ — это модель со строгими ограничениями, транслируемая в КМОП-схему, но не учитывающая время

Комбинационная схема — это аналог СФЭ, более близкий к “реальности” и использующийся в области цифровой схемотехники

# Логические вентили

Логический вентиль — это схемотехнический аналог ФЭ

Как и ФЭ, вентиль содержит булеву функцию, набор входов и выход

Основные логические вентили:

Буфер

$$y = x$$

НЕ

$$y = \bar{x}$$

И

$$y = x_1 \& x_2$$

$$y = x_1 \& x_2 \& x_3$$

$$y = x_1 \& x_2 \& x_3 \& x_4$$

...

ИЛИ

$$y = x_1 \vee x_2$$

$$y = x_1 \vee x_2 \vee x_3$$



...

Исключающее ИЛИ

$$y = x_1 \oplus x_2$$

$$y = x_1 \oplus x_2 \oplus x_3$$



...

# Логические вентили

На выходе и любом входе вентиля можно дорисовать кружок, означающий **отрицание** в соответствующем месте

Кружок на выходе добавляет к названию вентиля суффикс “-НЕ”

Например:

И-НЕ

$$y = \overline{x_1 \& x_2} = x_1 | x_2$$

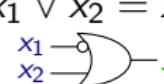

ИЛИ-НЕ

$$y = \overline{x_1 \vee x_2} = x_1 \downarrow x_2$$


Исключающее ИЛИ-НЕ

$$y = \overline{x_1 \oplus x_2} = x_1 \sim x_2$$

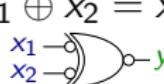

—

$$y = \overline{x_1} \vee x_2 = x_1 \rightarrow x_2$$


—

$$y = \overline{x_1 \& \overline{x_2}} = x_1 \rightarrow x_2$$


—

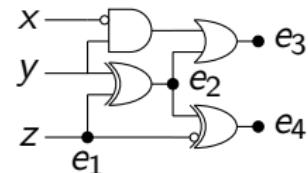
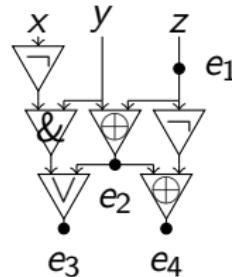
$$y = \overline{x_1 \oplus \overline{x_2}} = x_1 \sim x_2$$


# Комбинационные схемы

Определение **комбинационной схемы** отличается от определения СФЭ (... ориентированный граф ...) только тем, что вместо ФЭ используются логические вентили

Булева функция, **реализуемая** в вершинах комбинационной схемы, и набор функций, **реализуемый** схемой, определяются в точности так же, как и для СФЭ

**Например**, изображёнными СФЭ и комбинационной схемой реализуются одинаковые наборы функций:



Один из смыслов (**семантик**) комбинационной схемы — это реализуемый схемой набор булевых функций — но на практике используются и другие смыслы

## Семантики комбинационных схем

В **блоке 3** обсуждалось “реальное воплощение” значений 0, 1 в аппаратуре: это два заданных уровня напряжения в устройстве (низкий и высокий), изменяющихся в реальном времени

Более точно, это

- ▶ **интервалы** напряжений  $I_0$ ,  $I_1$  на выходе вентиля: уровни 0, 1  $\pm$  погрешность (*от которой никак не избавиться в реальном мире*)
- ▶ **чуть более широкие интервалы** напряжений  $J_0$ ,  $J_1$  на входе вентиля: интервалы  $I_0$ ,  $I_1 \pm$  потери при передаче напряжения от одного вентиля другому

Семантика комбинационной схемы в такой трактовке булевых значений — это отображение, описывающее соответствие между цифровыми **сигналами**, посыпаемыми на входы схемы, и сигналами, получаемыми на выходах схемы

Под **сигналом** здесь понимается отображение, описывающее непрерывное изменение уровня напряжения в реальном (*действительном*) времени  
Семантику схем в такой трактовке булевых значений для ясности будем называть **интервальной**

## Семантики комбинационных схем

Интервальная семантика логического вентиля, содержащего функцию  $f(x_1, \dots, x_n)$ , устроена так:

если на входах вентиля достаточно долго поддерживаются напряжения интервалов  $J_{\alpha_1}, \dots, J_{\alpha_n}$ , то напряжение на выходе с некоторого момента всегда принадлежит интервалу  $I_{f(\alpha_1, \dots, \alpha_n)}$

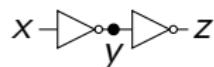
Интервальная семантика комбинационной схемы складывается из интервальных семантик содержащихся вентилей точно так же, как семантика СФЭ складывается из семантик содержащихся в ней ФЭ

Изменение напряжения сигнала от интервала  $I_p/J_p$  до интервала  $I_{1-p}/J_{1-p}$  называется **фронтом** сигнала:

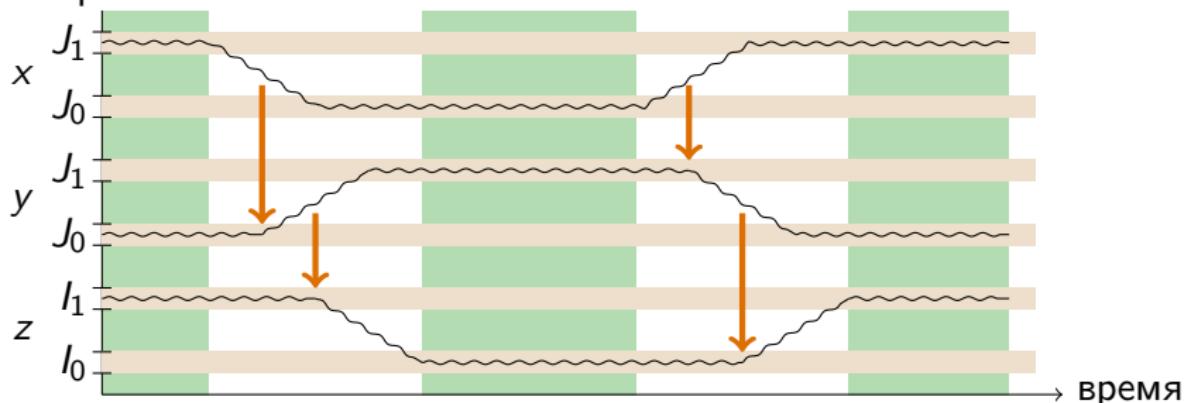
- ▶ от  $I_0/J_0$  до  $I_1/J_1$  — **передним** фронтом
- ▶ от  $I_1/J_1$  до  $I_0/J_0$  — **задним** фронтом

# Семантики комбинационных схем

Пример:



Отображение входного сигнала  $x$  в выходные сигналы  $y, z$  в интервальной семантике:



“” = “напряжения на выходах соответствуют напряженням на входах и функциям, содержащимся в вентилях”

“” — задний фронт

“” — передний фронт

## Семантики комбинационных схем

При разработке схем часто оказывается неважно знать **погрешности и точную форму** сигналов в схеме, и в связи с этим понятие сигнала и семантика вентилей и схем упрощаются

Пример такого упрощения:

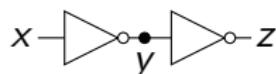
- ▶ Интервалы напряжений  $I_0$ ,  $J_0$ ,  $I_1$  и  $J_1$  заменяются на заданные уровни напряжения (*без погрешностей*): 0, 0, 1, 1 соответственно
- ▶ Переходы от уровня 0 к уровню 1 и обратно изображаются линиями, обозначающими, что напряжение отлично от 0 и 1 (*а какое именно, неизвестно*)

**Сигнал** с учётом такого упрощения является *кусочно-линейным непрерывным отображением*, описывающим изменение напряжения в реальном времени

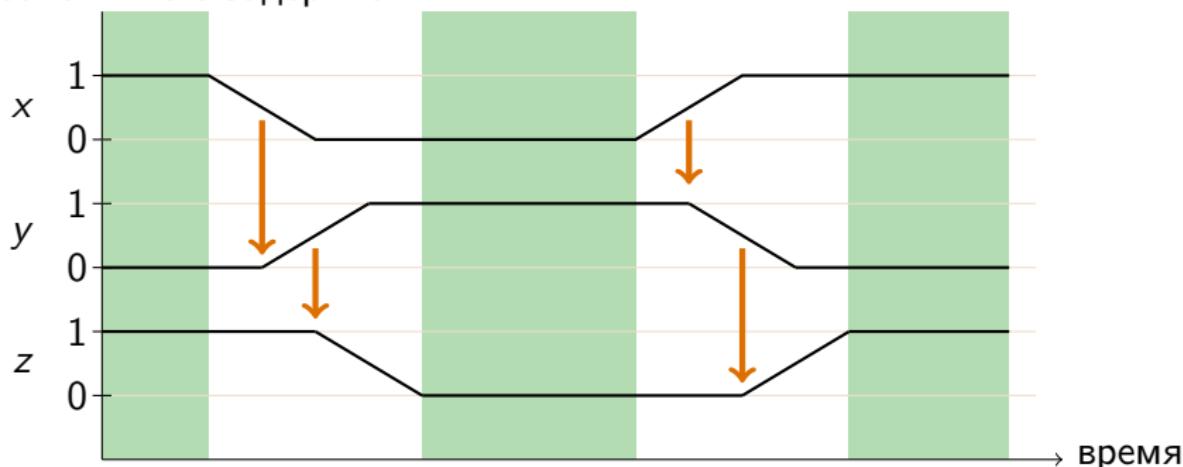
Семантику схем с такой трактовкой булевых значений для ясности будем называть **точечной с задержками**

# Семантики комбинационных схем

Пример:



Отображение входного сигнала  $x$  в выходные сигналы  $y, z$  в точечной семантике с задержками:



“ $\searrow$ ” — задний фронт

“ $\nearrow$ ” — передний фронт

## Семантики комбинационных схем

При разработке схем на высоких уровнях абстракции часто для простоты считается, что фронты сигналов **мгновенны**

**Сигнал** в таком упрощении становится отображением следующего вида:

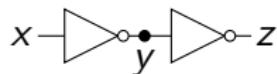
- ▶ Временная ось покрывается **открытыми интервалами**  
 $((x, y) = \{z \mid x < z < y\})$  так, чтобы непокрытыми осталось только конечное или счётное множество точек
- ▶ На каждом интервале сигнал имеет постоянное значение: 0 или 1
- ▶ Значения сигнала на каждой паре соседних интервалов различны
- ▶ **фронт** — это особое значение сигнала в каждой непокрытой точке:
  - ▶ значение на интервале слева — 0, а справа — 1  $\Rightarrow$  фронт **передний**
  - ▶ значение на интервале слева — 1, а справа — 0  $\Rightarrow$  фронт **задний**

Момент фронта — это момент **нестабильности** сигнала: если от значения сигнала в этот момент существенно зависят значения в других местах схемы, то эти значения могут быть произвольны

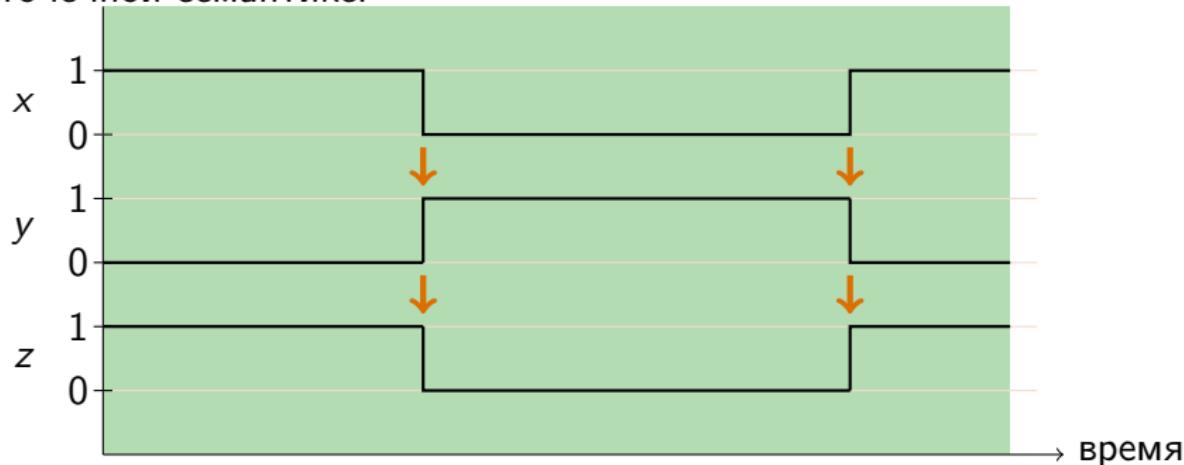
Семантику комбинационных схем, основанную на таком определении сигнала, для ясности будем называть **мгновенной точечной**

# Семантики комбинационных схем

Пример:



Отображение входного сигнала  $x$  в выходные сигналы  $y, z$  в мгновенной точечной семантике:



"↑" — фронт